

MODULARER MODELLANSATZ ZUR SIMULATION VON ENERGIESYSTEMEN AUF QUARTIERSEBENE

Marcus Fuchs, Moritz Lauster, Jens Teichmann, Dirk Müller
RWTH Aachen University, E.ON Energy Research Center, Institute for Energy Efficient
Buildings and Indoor Climate, Aachen, Deutschland

Kontakt: mfuchs@eonerc.rwth-aachen.de

KURZFASSUNG

Um Stadtquartiere energetisch zu simulieren sind geeignete Modelle nötig. Diese müssen aussagekräftige Ergebnisse bei annehmbaren Rechenzeiten gewährleisten. Im Rahmen des vorgestellten Projekts werden die Energiesysteme campusartiger Liegenschaften untersucht. Dafür werden vereinfachte Teilmodelle für Energiebereitstellung, Verteilnetze und Gebäude als Verbraucher erstellt. Das vereinfachte Widerstands-Kapazitätenmodell bildet den Bedarf an Wärme, Kälte und Strom ab. Für ein Referenzgebäude liegt die Abweichung zum gemessenen Verbrauchswert für verschiedene Betrachtungszeiträume zwischen 5 und 30%. Für eine Jahressimulation benötigt das Modell dabei wenige Minuten Rechenzeit. Durch den modularen Ansatz ist das Modell sowohl einzeln verwendbar als auch mit Netz- und Erzeugermodellen koppelbar. Damit soll eine integrale energetische Quartierssimulation umgesetzt werden, aus der sich die effizientesten Sanierungsmaßnahmen ableiten lassen.

ABSTRACT

For the simulation of energy flows at city quarter scale it is necessary to use adequate models which produce significant results on short computation times. In this project we investigate campus-structured areas and their energy systems. Therefore, we develop submodels for the energy supply, distribution networks, and buildings which consume heat, cold and electricity. Depending on the period under observation, the difference between the results of a building simulation and reference values from a real building is between 5 and 30%. To simulate the building's energy demand for a year, the computation times are in the range of a few minutes. Because of the modular structure of the modeling approach, it is possible to both simulate the building independently as well as to couple the model with models for distribution networks and heat and cold generation. This aims at providing an integral city quarter simulation which helps with identifying efficient retrofitting options.

EINLEITUNG

Die energetische Simulation von Stadtquartieren kann einen wichtigen Beitrag leisten, den Primärenergiebedarf im Gebäudesektor zu verringern und die Energieeffizienz zu verbessern. Eine solche Simulation ermöglicht die integrale Betrachtung der Energieversorgung, anhand derer die Potentiale für effiziente und wirtschaftliche Optimierungsmaßnahmen erkannt werden können. Durch die integrale Betrachtung werden Wechselwirkungen zwischen einzelnen Teilsystemen erfasst. So können die Optimierungsansätze ermittelt werden, die sich neben einer lokalen Verbesserung zusätzlich positiv auf das Gesamtsystem auswirken.

Diese Möglichkeiten sprechen dafür, die energetische Quartierssimulation als integrales Planungshilfsmittel einzusetzen. Die größte Schwierigkeit liegt dabei in der Komplexität der betrachteten Systeme. Die Komplexität liegt besonders in der großen Anzahl an verschiedenen Objekten begründet, die zum Teil miteinander in Wechselwirkung stehen. Aus dieser Menge an Objekten und Daten ergibt sich eine natürliche Beschränkung der möglichen Auflösung und Genauigkeit. Daher gibt es bisher auch kein Planungshilfsmittel, das die verschiedenen Anforderungen von Praxis und Forschung vollständig erfüllt (Erhorn-Kluttig, 2011).

Um die Komplexität von Stadtquartieren dennoch zu beherrschen gibt es verschiedene Ansätze zur energetischen Quartierssimulation. Eine Möglichkeit liegt in der Kopplung verschiedener Simulationsumgebungen, die jeweils speziell die Anforderungen der einzelnen Teilaufgaben erfüllen (Huber, 2011). Ein weiterer Ansatz ist die Neuentwicklung einer geeigneten einheitlichen Simulationsumgebung, um gezielt die nötigen Funktionen für die Quartierssimulation bereitzustellen (Robinson, 2009). Im hier beschriebenen Modellansatz wird die Programmiersprache Modelica verwendet, um die Quartierssimulation in der Simulationsumgebung Dymola modular umzusetzen. Die Herausforderung dabei liegt im zu findenden Kompromiss zwischen Eingabeaufwand, Rechenaufwand und Aussagekraft der Ergebnisse. Dazu werden vereinfachte Modelle entwickelt.

Um die Aussagekraft der entwickelten Modelle und Simulationen zu überprüfen, werden im Rahmen des Projekts die Messdaten von zwei Liegenschaften gesammelt und verwertet. Gemessen werden die Verbräuche der Gebäude, die Produktion der Erzeugeranlagen und Energieflüsse in den hydraulischen Netzen. Die Messwerte fungieren damit als Referenz für die Simulation. Darüber hinaus sollen aus den Simulationen auch Optimierungsmaßnahmen für die konkreten Beispielliegenschaften abgeleitet werden.

Für die Umsetzbarkeit derartiger Maßnahmen sind neben der Struktur auch die Verwaltung und Eigentumsverhältnisse von entscheidender Bedeutung. Liegenschaften mit dem Charakter eines universitären Campus bieten dabei besondere Vorteile. Durch zentrale Verwaltung und Betrieb der Energieversorgung liegen Verantwortung und Befugnisse oft in einer Hand und es besteht Interesse, Veränderungen gezielt im Hinblick auf das Gesamtsystem durchzuführen.

Im vorliegenden Projekt werden der Campus der RWTH Aachen in Melaten sowie das Forschungszentrum Jülich untersucht. In beiden Liegenschaften werden Nichtwohngebäude über thermohydraulische Netze mit zentral erzeugter Wärme und Kälte versorgt. Der Gebäudebestand setzt sich dabei überwiegend aus Bürogebäuden, Laborgebäuden und Mischformen aus beiden zusammen. Der Campus Melaten wird über ein Heizkraftwerk mit Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung versorgt. Für das Forschungszentrum Jülich besteht eine Anbindung des lokalen Wärmenetzes an ein großes Braunkohlekraftwerk über eine Wärmeleitung und zentrale Wärmeübertrager. Insgesamt umfassen die beiden Liegenschaften etwa 300 ha und wenige hundert Gebäude mit jeweils einem Wärme- und einem Kältenetz.

MODELLANSATZ

Der Modellansatz für die Energieflüsse in einem Stadtquartier wird vollständig in der objektorientierten Programmiersprache Modelica umgesetzt. Das bedeutet, dass die Simulationsumgebung nicht in jedem Fall speziell auf die Anforderungen der Teilaufgaben zugeschnitten ist, was die Modellierung im Einzelfall erschwert. Der Vorteil besteht aber darin, dass eine vorhandene Simulationsumgebung mit ihren zugehörigen Bibliotheken und Methoden integral genutzt werden kann. Darüber hinaus können verschiedene Teilsysteme leicht kompatibel gestaltet und stabil miteinander verbunden werden.

Ein Quartier als Energiesystem ist mit Gebäuden, Netzen und Erzeugungsanlagen modular aufgebaut. Auch diese Elemente sind Teilsysteme, die wiederum aus einzelnen Komponenten bestehen. Dabei lassen sich beliebig viele Teilsysteme auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen definieren. Für eine Untersuchung des Energiesystems müssen die

einzelnen Komponenten und Teilsysteme sinnvoll gegliedert werden. Diese Gliederung lässt sich daraufhin in einen modularen Modellansatz übertragen.

Ein derartiger Ansatz bietet die Möglichkeit, der Komplexität des Systems mit der Betrachtung auf verschiedenen Ebenen gerecht zu werden. Mit der Aufteilung auf ineinander verschachtelte Teilsysteme und der Ordnung in verschiedene Betrachtungsebenen können sowohl übergeordnete Gesamtzusammenhänge als auch ausführliche Detailansichten dargestellt werden.

Da Modelica gleichungsbasiert rechnet, müssen Teilmodelle so gestaltet sein, dass sie für sich sowie im Gesamtzusammenhang physikalisch schlüssig und eindeutig definiert sind. Unter Beachtung dieses Rahmens können einzelne Teilsysteme bearbeitet, ersetzt oder auch einzeln untersucht und berechnet werden, ohne dass große Änderungen am Gesamtmodell nötig sind. Durch die objektorientierte Modellierung ist es darüber hinaus möglich, Basismodelle über Vererbung und Parametrisierung zu erweitern und anzupassen. So können beispielweise große Mengen an Gebäuden mit vergleichsweise wenig Aufwand entsprechend den realen Gegebenheiten in die Simulation eingebunden werden.

Die Aufteilung in solche Teilmodelle und deren gute Kompatibilität eröffnet die Möglichkeit, auf die Rolle einzelner Teilsysteme und die Auswirkung von Einflussgrößen auf das Gesamtsystem zu schließen. Dazu können verschiedene Varianten berechnet und Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden. Bei vorhandenen Messwerten können Teilsysteme darüber hinaus mit den Daten validiert werden, bevor sie in das Gesamtsystem eingearbeitet werden. Dies gilt besonders für einzelne Gebäude, wie im folgenden Abschnitt gezeigt wird.

Allgemein wird ein vereinfachter Modellansatz verfolgt. Dabei hilft die Validierung von Teilsystemen anhand von Messwerten. So wird sichergestellt, dass die Aussagekraft der Modelle mit den durchgeführten Vereinfachungen gewährleistet bleibt. Es wird untersucht, inwieweit die Modelle vereinfacht werden können und wie sich dies auf Genauigkeit, Eingabeaufwand und Rechenzeit auswirkt. Ziel ist eine Gesamtsimulation des Systems, die das Verhalten dynamisch repräsentativ abbildet und dazu vertretbare Rechenzeiten beansprucht.

Für die Simulation werden thermische Zonenmodelle der Gebäude über ein vereinfachtes thermohydraulisches Netzmodell mit Erzeuger- bzw. Einspeisemodellen gekoppelt. Die Modelle müssen dabei ausreichende Genauigkeit bei vertretbaren Rechenzeiten erreichen. Einen guten Kompromiss zwischen Genauigkeit und Rechenzeit bieten Widerstands-Kapazitätenmodelle (Robinson, 2011). Dabei werden die Eigenschaften der Gebäudephysik

über thermische Widerstände und Kapazitäten ausgedrückt. So lässt sich der Aufbau der Gebäudeelemente in ein Ersatzschaltbild übertragen, dass in Analogie zu elektrischen Schaltbildern vereinfacht werden kann.

Eine weitere Anforderung ist, dass der Eingabeaufwand zur Implementierung der Modelle auch bei nicht vollständiger Datenlage und einer großen Anzahl an zu untersuchenden Objekten nicht zu groß wird. Problematisch ist dabei vor allem die Simulation der einzelnen Gebäude und deren Verbindung untereinander über thermohydraulische Netze. Deshalb soll die Parametrisierung der Gebäudemodelle möglichst automatisiert ablaufen.

GEBÄUDESIMULATION

Für das Gebäudemodell werden die Gebäudephysik und innere Lasten in thermische Zonen eingeteilt. Die Abbildung der Gebäudephysik stellt dabei den Ausgangspunkt dar. Für die Modellierung wird ein thermisches Widerstands-Kapazitätenmodell auf Basis der VDI 6007 verwendet. Die Richtlinie beschreibt ein vereinfachtes Rechenmodell zur Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Gebäuden.

In der Richtlinie ist ein vereinfachtes Schaltbild der thermischen Widerstände und Kapazitäten zur Abbildung von Räumen und Gebäuden angegeben. Auf Basis dieser Schaltung wurde in Dymola ein physikalisches Teilmodell umgesetzt, das in der Simulation die Gebäudephysik einer thermischen Zone abbildet. Eine Zone wird im Modell auf eine Ersatzinnenwand und eine Ersatzaußenwand reduziert, deren Parameter sich aus der realen Geometrie, der Ausrichtung und den Aufbauten berechnen. Dabei werden die einzelnen thermischen Widerstände und Kapazitäten der realen Bauteile so zusammengefasst, dass die Ersatzwände deren thermisches Verhalten wiedergeben.

Über ein automatisiertes Eingabewerkzeug werden die Eingangsdaten der Geometrie und der Aufbauten in die entsprechenden Ersatzwiderstände und Ersatzkapazitäten umgerechnet. Bei der Betrachtung ganzer Stadtquartiere liegen dazu meist die Daten nicht in einheitlicher Qualität und Detaillierung vor. Für den Fall einer unvollständigen Datenlage sind Standardwerte entsprechend einer Einteilung der Gebäude in repräsentative Gebäudetypen und Altersklassen hinterlegt. Für gut dokumentierte Gebäude werden stattdessen die realen Abmaße und Aufbauten eingepflegt. Diese werden der Datenbank mit den Standardwerten hinzugefügt und können daraufhin ebenfalls für weitere Gebäude verwendet werden.

An das Widerstands-Kapazitätenmodell schließen sich mehrere Teilmodelle an. Modelle für innere Lasten beinhalten die Wärmeabgabe von Personen, Maschinen sowie Beleuchtung und bilden damit den thermischen Einfluss der Gebäudenutzer ab. Ein

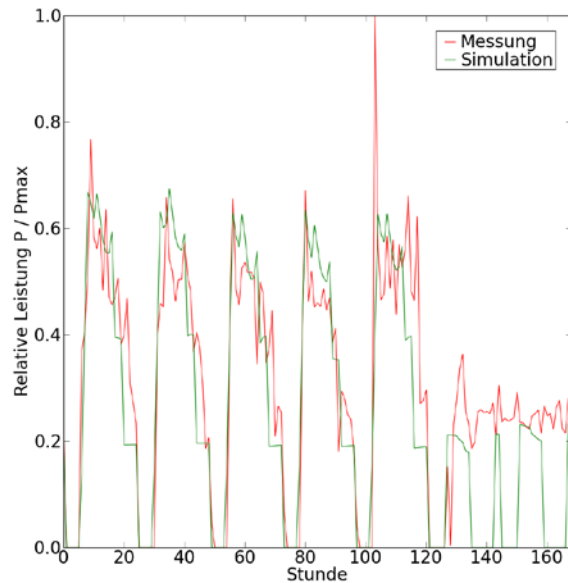


Abbildung 1: Vergleich der Wärmeleistung für ein Bürogebäude aus Simulation und Messung

weiteres austauschbares Modell für die Wärme- und Kälteversorgung sorgt für ein thermisches Gleichgewicht in den Gebäudezonen. Die äußeren Bedingungen werden über ein Wettermodell als Randbedingungen gesetzt. Die dafür nötigen Werte werden dem Modell in Form von Messwerten lokaler Wetterstationen vorgegeben. Besonders von Bedeutung sind dabei die Außentemperatur und die solare Einstrahlung.

Da die Gebäudephysik nur durch jeweils eine rechnerische Innen- und Außenwand abgebildet wird, kann die Ausrichtung der Außenflächen und der Einfluss der äußeren Randbedingungen nur indirekt berücksichtigt werden. Die Einstrahlung auf die Fläche wird dabei über Gewichtsfaktoren erfasst, die der Außenwand ihren relativen Anteil an der Einstrahlung entsprechend ihrer Ausrichtung zuweisen. Durch Eingabe der Fensterfläche in dieser Ausrichtung kann die Einstrahlung in den Innenraum berechnet werden. Die Auswirkung der Einstrahlung auf die nichttransparenten Flächen wird zusammen mit der Außentemperatur in einer äquivalenten Außentemperatur berücksichtigt.

Für die inneren Lasten werden Nutzerprofile hinterlegt, die stündliche Gleichzeitigkeitsfaktoren in Bezug auf die mögliche maximale Auslastung angeben. Für einen Test des Gebäudemodells wurden Tagesprofile für verschiedene Standardzonen nach DIN V 18599 und SIA Merkblatt 2024 verwendet. Diese sind für die Simulation von Stadtquartieren und des Verhaltens von Netzen ungeeignet, da sie für die Abbildung des realen Nutzerverhaltens zu statisch sind. Deshalb sollen dazu stochastische Profile auf Basis von Markov-Ketten eingesetzt werden (Page, 2007).

Da das Teilmodell für die Wärme- und Kälteversorgung ohne Zusatzaufwand austauschbar

ist, kann das Gebäudemodell isoliert mit eigener Versorgung oder gekoppelt an Wärme- und Kältenetz simuliert werden. Das Versorgungsmodell verfügt über eine Wärme- und eine Kältequelle sowie einen Regelungsblock. Die Zielgrößen der Simulation sind dabei der Bedarf an Strom, Wärme und Kälte. Der Wärme- und Kältebedarf wird direkt berechnet, um das thermische Gleichgewicht bei vorgegebener Sollinnenraumtemperatur herzustellen. Indirekt wird dagegen der Stromverbrauch über die Wärmeabgabe der elektrischen Verbraucher wie Beleuchtung und Maschinen angenähert.

Durch den Wechsel des Versorgungsmodells kann der berechnete Wärme- und Kältebedarf eines einzelnen Gebäudes mit Messdaten abgeglichen werden. Als Testfall wurde ein Bürogebäude ausgewählt. Für das Gebäude liegen die gemessenen Verbrauchsdaten für Strom, Wärme und Kälte viertelstündlich für einen Zeitraum von einem Jahr vor. Auf dieser Basis wurde ein Abgleich der Simulationsergebnisse mit den Messdaten durchgeführt. Dabei wurde die Abweichung zwischen Messung und Simulation absolut und relativ bezogen auf den Messwert für verschiedene Zeithorizonte zwischen Stunden und dem Gesamtzeitraum von einem Jahr bestimmt.

Das vor wenigen Jahren errichtete Testgebäude beinhaltet vor allem Büros, Besprechungsräume sowie einen Hörsaal und einen Serverraum. Insgesamt wurde das Gebäude durch ein Modell aus sechs Zonen abgebildet. Für jede dieser Zonen wurden ein Tagesprofil für den Nutzereinfluss für Wochentage sowie ein Tagesprofil für das Wochenende verwendet. Diese Profile sind ebenfalls im Eingabewerkzeug zur Erfassung der Gebäudephysik hinterlegt. So können jeder Zone im Verlauf der Gebäudeerfassung die entsprechenden Tabellen automatisch zugewiesen werden, was den Aufwand zur Parametrisierung des Modells weiter verringert.

In Abbildung 1 ist beispielhaft der Verlauf des berechneten Wärmebedarfs des Gebäudes für eine Woche während der Wintermonate dargestellt. Zum Vergleich sind die gemessenen Daten ebenfalls aufgetragen. Man erkennt, dass die Simulation mit den bisher verwendeten Profilen den Bedarf nur relativ statisch wiedergibt, während der tatsächliche Verbrauch stärker schwankt. Allerdings ist auch zu sehen, dass die Kurven in Größenordnung und Verlauf in großen Teilen übereinstimmen.

Um einen genaueren Abgleich zwischen simuliertem Bedarf und gemessenem Verbrauch durchzuführen, wurden neben der Gegenüberstellung von Verläufen auch die Abweichungen zwischen Simulation und Messung berechnet. Abbildung 2 zeigt die relative Abweichung zwischen den drei Zielgrößen der Simulation, also dem Wärme-, Kälte- und Strombedarf, und den entsprechenden gemessenen Verbrauchsdaten für verschiedene Zeithorizonte.

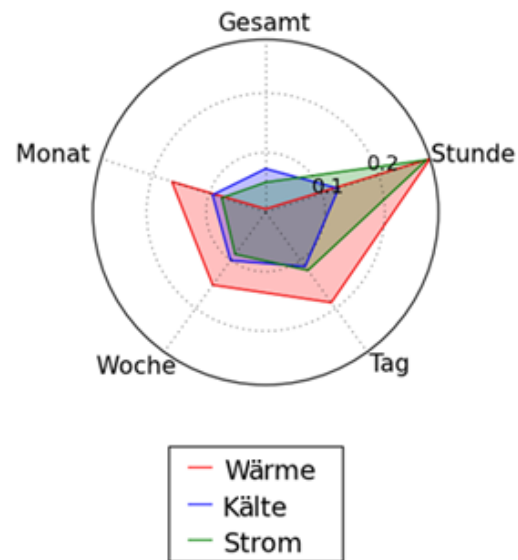


Abbildung 2: Darstellung der relativen Abweichung zwischen Simulation und Messwerten bezogen auf den Messwert für Wärme, Kälte und Strom

Der Gesamtbetrachtungszeitraum entspricht einem Jahr. Über diesen Zeitraum werden die realen Verbräuche in der Simulation mit einer Abweichung von unter 7% abgebildet. Für eine Betrachtung von kürzeren Zeiträumen, in denen sich positive und negative Abweichungen weniger ausgleichen, verändert sich die Abweichung der Simulation von den Messdaten für verschiedene Zielgrößen unterschiedlich stark.

Für den vergleichsweise gleichmäßigen Verbrauch an Kälte, die überwiegend zur Serverkühlung verwendet wird, liegt die Abweichung für alle Betrachtungszeiträume im Bereich um 10%. Da der Serverraum als eigene Zone modelliert ist, kann der Einfluss der Kühlung auf das thermische Gleichgewicht für den Raum vergleichsweise gut bestimmt werden.

Der Abgleich des Stromverbrauchs dient als ergänzende Kontrolle der Simulation. Da der berechnete Strombedarf direkt von den angegebenen Profilen für die Nutzung von Maschinen und Beleuchtung abhängt, kann der Abgleich Aufschluss über die Qualität der angenommenen Profile liefern. Damit ermöglicht die Betrachtung des simulierten Strombedarfs als weitere Zielgröße neben Wärme und Kälte eine genauere Erfassung des Nutzereinflusses. Die Rückschlüsse aus diesen Untersuchungen sollen in die Entwicklung verbesserter stochastischer Nutzerprofile einfließen.

Bei den meisten Betrachtungszeiträumen ergibt sich für die Zielgröße Strom eine ähnliche Übereinstimmung zwischen Simulation und Messung wie für die Kälte. Nur die stündlichen Schwankungen verursachen im derzeitigen Stand des Modells noch Abweichungen von über 25% gegenüber den Messwerten. Auch hier spielt der Einfluss der Server

eine große Rolle. Dieser eigentlich stochastische Einfluss wird auf stündlicher Auflösung durch die Standardprofile nicht genau erfasst.

Auch der Wärmeverbrauch schwankt stündlich stärker als der Kälteverbrauch, was sich auf die Abweichung des berechneten Wärmebedarfs von den Messwerten auswirkt. Als stärkste Einflussgrößen auf den berechneten Wärmebedarf wurden mit einer Sensitivitätsanalyse am Modell die Soll- und Außentemperaturen sowie Infiltration und Luftwechsel ermittelt.

Für die Betrachtungszeiträume Tag, Woche und Monat ergeben sich derzeit Abweichungen im Bereich von 10 - 20%. Über den Verlauf eines Jahres gleichen sich die Abweichungen weitestgehend aus. Dabei sind die Abweichungen in der Übergangszeit am größten. Aus weiteren Abgleichen vergleichbarer Testgebäude wird angestrebt, Verbesserungen am Modell abzuleiten, die die dynamische Wiedergabe der gemessenen Verbräuche in der Simulation ermöglichen.

Ein weiteres Kriterium neben der Genauigkeit der Simulation ist die benötigte Rechenzeit. Durch die vereinfachte Darstellung im Widerstands-Kapazitätenmodell ist es möglich, die Jahressimulation eines Gebäudes in wenigen Minuten durchzuführen. Dies ist von entscheidender Bedeutung, wenn die Gebäude in großer Zahl als dynamische Last im Gesamtmodell über Modelle für die thermohydraulischen Netze miteinander gekoppelt werden.

AUSBLICK

Bisher wurde ein Gebäudemodell auf Grundlage des Widerstands-Kapazitätenmodells der VDI 6007 in Modelica umgesetzt und die berechneten Energiebedarfe für ein Testgebäude mit gemessenen Verbrauchsdaten abgeglichen. Dabei wies das Modell kurze Rechenzeiten auf. Die Abweichung der Ergebnisse zu gemessenen Verbrauchsdaten hängt noch stark vom Betrachtungszeitraum ab, während im Mittel über ein Jahr bereits gute Übereinstimmung erreicht wird. Um die Dynamik des Verbrauchs auch in kürzeren Betrachtungszeiträumen genauer wiederzugeben, soll das Modell weiter verbessert werden.

Dazu werden mehrere Testgebäude untersucht. Die Gebäude der im Projekt beteiligten Liegenschaften werden entsprechend ihres Alters, Aufbaus, der Nutzung und des Verbrauchs in Klassen eingeteilt. Für jede dieser Klassen wird anhand von Testgebäuden, für die eine breite Datenbasis vorliegt, die Auswirkung von Einflussgrößen weiter untersucht und charakteristische Eigenschaften im thermischen Verhalten der Gebäude dieser Klasse ermittelt. Darüber hinaus werden stochastische Nutzerprofile entwickelt, die jeweils das charakteristische Verhalten der Gebäudeklassen

besser wiedergeben sollen als die genormten statischen Tagesprofile.

Ein wichtiger Aspekt des modularen Ansatzes speziell in Bezug auf das Gebäudemodell ist das Teilmodell für die Wärme- und Kälteversorgung. Bisher wird damit der Wärme- und Kältebedarf berechnet, indem Wärme- und Kältequellen das thermische Gleichgewicht herstellen. Die Regelung basiert dabei darauf, die Innenraumtemperatur in einem Bereich zwischen vorgegebenen Sollgrößen zu halten. Im Verlauf der Weiterentwicklung soll das Verhalten der realen Anlagen genauer berücksichtigt werden. Dazu sollen die Regelung erweitert und Verluste angepasst werden, so dass die Modelle die gesamten Heizungs- und Kühlungs-systeme abbilden.

Die erweiterten Heiz- und Kühlmodelle sollen helfen, die Simulationsergebnisse den gemessenen Verbrauchswerten weiter anzunähern. Besonderer Fokus liegt dabei auf Wärmeübertragungssystemen, um den Netzanschluss der Gebäude zu modellieren und deren Einbindung in größere Systemzusammenhänge zu erreichen.

Im energetischen Gesamtsystem Stadtquartier stellt das Gebäudemodell die dynamische Last dar. Außerdem werden Netz- und Erzeugermodelle entwickelt. Das Netzmodell wird für Wärme- und Kältenetze genutzt. Während das Gebäude nur thermisch modelliert wird, soll das Netz thermohydraulisch modelliert werden. Auch bei diesem Teilsystem steht das dynamische Verhalten im Vordergrund. So sollen Energieflüsse und Verluste zeitlich und räumlich aufgelöst in Übereinstimmung mit Messwerten simuliert werden. Wie beim Gebäudemodell wird eine möglichst automatisierte Eingabe der Parameter angestrebt.

Das dritte Hauptmodul ist ein Modell der Erzeugungsanlagen zur Einspeisung in Wärme- und Kältenetze. Die Erzeugungsanlagen werden ebenfalls vereinfacht abgebildet. Es sollen die Rahmenbedingungen und charakteristischen Eigenschaften des Betriebs erfasst werden. So soll eine Untersuchung verschiedener Fahrweisen möglich sein, die dann in Hinblick auf die Auswirkungen auf das Gesamtnetz und die angeschlossenen Lasten beurteilt werden.

Zusammen dienen die einzelnen Module als Bestandteile einer integralen energetischen Quartierssimulation. Dadurch sollen die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Bestandteilen erfasst und bewertet werden. Neben Untersuchungen zur Fahrweise der Erzeuger und der Netze sollen so auch Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden nicht nur im Hinblick auf direkte Energieeinsparungen bewertet werden, sondern auch deren Auswirkungen auf den Netzbetrieb und das Gesamtlastprofil. Dies eröffnet Möglichkeiten, in integraler Betrachtungsweise die effizientesten Sanierungskonzepte zu ermitteln und die

größtmöglichen Effizienzverbesserungen und Primärenergieeinsparungen zu realisieren.

Aus den gesammelten Erfahrungen sollen zum einen konkrete Maßnahmen zur energetischen, exergetischen und wirtschaftlichen Optimierung der beiden untersuchten Liegenschaften abgeleitet werden. Außerdem wird die Simulation mit ihrer möglichst automatisierten Eingabe der Daten einer Liegenschaft mit dem Ziel entwickelt, dass sie auch bei unterschiedlicher Datenlage auf weitere Liegenschaften mit Campusstruktur übertragbar ist. Vorhandene Daten sollen dabei mit geringem Aufwand einzupflegen sein und nach Bedarf mit erprobten Standardwerten ergänzt werden. So soll ein Beitrag zur Entwicklung eines integralen Hilfsmittels zur energetischen Stadtquartiersplanung geleistet werden.

DANKSAGUNG

Wir danken für die finanzielle Unterstützung durch das BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie), Fördernummer 03ET1004A.

LITERATUR

- DIN V 18599-10: Energetische Bewertung von Gebäuden, Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten, 2011
- Erhorn-Kluttig, H., Jank, R., et al. 2011. Energetische Quartiersplanung: Methoden – Technologien – Praxisbeispiele, Fraunhofer-IRB-Verlag, Stuttgart
- Huber, J., Nytsch-Geusen, C. 2011. Development of Modeling and Simulation Strategies for Large-Scale Urban Districts, Proceedings of Building Simulation 2011, Sydney
- Page, J. 2007. Simulation of Occupant Presence and Behaviour in Buildings, Dissertation, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne
- Robinson, D., Haldi, F., et al. 2009. CitySim: Comprehensive Micro-Simulation of Resource Flows for Sustainable Urban Planning, Proceedings of Building Simulation 2009, Glasgow
- Robinson, D. 2011. Computer Modelling for Sustainable Urban Design, earthscan, London
- SIA Merkblatt 2024: Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, 2006
- VDI 6007 Blatt 1: Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden, 2012